

2003年宮城県北部連続地震における鳴瀬町浜市地区 の液状化調査報告

著者	金原 瑞男, 荻場 悠佑, 飛田 善雄, 山口 晶
雑誌名	東北学院大学環境防災工学研究所紀要
号	15
ページ	75-84
発行年	2004-03-25
URL	http://id.nii.ac.jp/1204/00024576/

2003 年宮城県北部連続地震における鳴瀬町浜市地区の 液状化調査報告

東北学院大学工学研究科土木工学専攻 金原瑞男 苅場悠佑
環境土木工学科 飛田善雄 山口晶

キーワード: 液状化, 噴砂, 沈下・浮上がり

1. はじめに

2003年5月26日及び7月26日に宮城県北部を中心とした地震が発生した。7月26日の地震においては、前震(M5.6)、本震(M6.4)、余震(M5.5)という強い地震が連続で発生した。7月26日宮城県北部地震は、内陸直下型であったこと、24時間以内に地震が連続して発生したこと、地震発生前の5日間にわたり、100-150mm程度の降雨があったなどの特徴が挙げられる。このため、震源直下の防災拠点(学校、病院)や国道などに被害が生じた。さらに、住宅の全壊・半壊、ブロック塀の倒壊、大規模な斜面崩壊、河川堤防の崩壊や農地の液状化などの被害も生じた。

著者らの研究室(飛田・山口研究室)では、7月26日宮城県北部地震直後に現地に入り、地盤被害調査を行った。また、その後何度かに分けて特に液状化被害に関して重点的に調査を行った。なお、著者の一人は、地盤工学会「2003年三陸南地震及び宮城県北部地震災害調査委員会」の委員として調査に参加したため、同委員会がまとめた「2003年三陸南地震・宮城県北部地震災害調査報告書」において、著者らの研究室で行った調査の一部を報告している。ここでは同報告書のうち、著者らの研究室が行った鳴瀬町浜市地区の液状化被害調査について、改めて詳細な調査報告を行なうとともに、同委員会報告書の編集後に行った調査について報告する。

なお、液状化被害に関していえば、7月26日宮城県北部地震では、宮城県石巻市、鳴瀬町、矢本町、河南町、及び南郷町において噴砂跡が確認された。図-1に7月26日宮城県北部地震後に液状化の痕跡(噴砂跡)が確認された地点を示す。なお、宮城県沖地震(1978)及び5月26日地震の噴砂跡が確認された地点も同図に示した。ただし、液状化被害としては、護岸の沈下や移動等が確認されたがいずれも補修等によって使用可能であり、全体的な被害としては大きいものではなかった。



図-1 7月26日地震の噴砂地点¹⁾

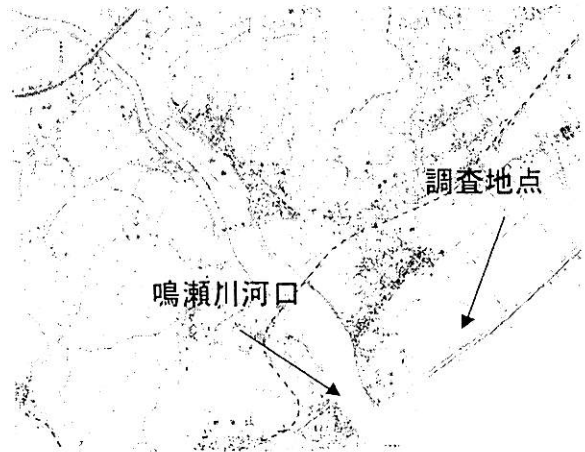


図-2 調査地点

(国土地理院発行 1/25000 地図「小野」に加筆)

2. 調査地点概要と調査概要

2003年7月26日に発生した宮城県北部連続地震では、宮城県鳴瀬町浜市地区の水田において大規模な液状化が発生し、水田や農道の噴砂と沈下、及び排水溝（以下、U字溝）の上下変動が確認された。これらの被災状況について行った詳細調査をここで報告する。

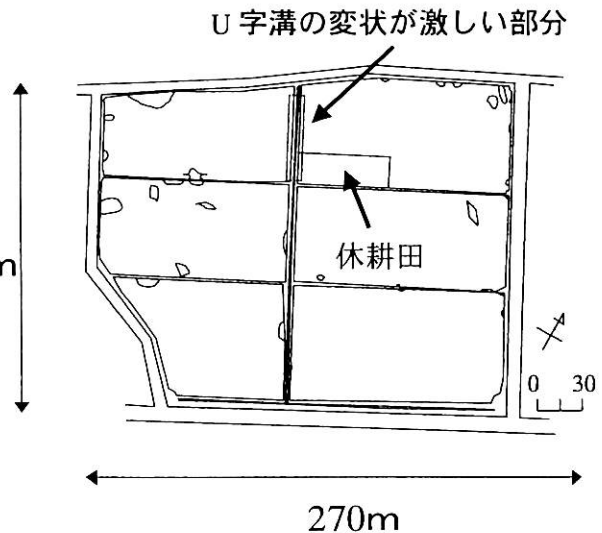


図-3 調査地点全体概要図

図-2に調査地点の位置概要図を示す。調査地点は、宮城県北部の鳴瀬川河口付近の水田である。図-3に調査した地点の全体概要図を示す。調査した水田は縦の南北方向にほぼ

220m、東西方向に270mである。中央部のほぼ南北方向に排水路としてU字溝が設置してある。調査を行った範囲の南側には、堤防上の道路を挟んで北上運河があり、U字溝を流れた排水は運河に流れ込んでいる。調査地点の外周は農道で囲まれている。

調査地点の中央部をほぼ南北にはしるU字溝では液状化が原因と思われる沈下と浮き上がりの上下変動が見られた。図-4にU字溝の沈下と浮き上がりの写真を示す。浮き上がりが大きいU字溝では、U字溝の底面と水面がほ



図-4 調査地点

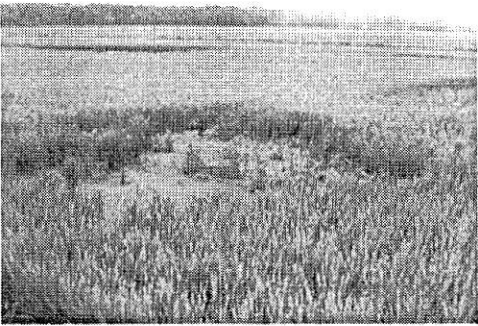


図-5 調査地点

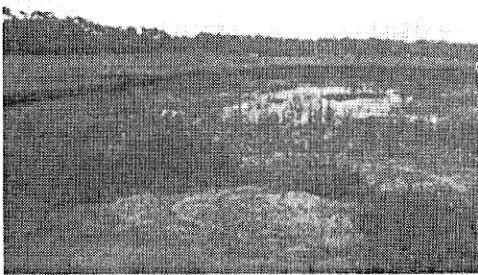


図-6 調査地点

ば同程度の高さとなっており、沈下が大きいところではU字溝全体が噴砂によって噴出したと思われる砂に完全に埋没していた。なお、目視した範囲で、U字溝の横（東西）方向のずれは見られなかった。U字溝の沈下・浮き上がりの激しい付近では噴砂跡が見られ、これらの被害が液状化によるものであると推定される。

調査地点の水田では、5月26日の地震によって液状化しており、そのときに液状化した部分では稲の苗が噴砂によって流れたため、地震発生時も稲の生えない部分となっていた。調査時点では、稲の生えない部分に7月26日の地震によって発生したと思われる噴砂が新たに発生していた。図-5に噴砂の写真を示す。これは、5月26日に噴砂が発生した同じ場所に再び7月26日に噴砂が発生していることを示しており、再液状化が発生した証拠である。図-3には目視で観測できた範囲の噴砂を示してあるが、噴砂は稲の成育していない部分のみでなく、稲の生育している部分でも発生していた。

図-3の北側にある休耕田においても、多数の噴砂が見られた。休耕田は縦（南北）方向で約20m、横（東西）方向約60mとなっている。図-6は休耕田の写真で

ある。写真から読み取れるように噴砂の高さは水面から数十cmとなっており、稲が生育している他の水田においてもこのような高低差が発生している可能性がある。

なお、調査した水田全周の道路では、液状化のためと思われる沈下と浮き

上がり、噴砂跡が見られた。

調査地点で農作業をしている方に聞き取り調査を行った。まとめると以下の通りである。

- ・ 昔は荒地であったところを水田に開墾した。ゼロメートル地帯である。
- ・ 田んぼのいい土は深さ方向に数十 cm しかなく、あとは砂質土である。
- ・ 7月に地震によって水田の盤が沈下したところと隆起したところがあり、その高低差は最大で 60cm 程度になるのではないか。
- ・ 7月は低温であったが、地面が沈下したところに生えていた稲は水位が深くなったため、保温効果により生育がよかった。逆に隆起したところに生えた稲は生育がわるい。
- ・ 地震により、南北に走っているU字溝のうち北側の排水路が変位し、排水ができなくなった。

これらの全体概要と聞き取り調査から、液状化被害の調査にあたってはU字溝の上下方向の変位と休耕田の上下方向の起伏及び噴砂の範囲について、重点的に調査を行った。なお、休耕田を調査対象とした理由は、調査した期間は2003年9月20日-23日であり稲の生育途中で水田内に入ることが不可能であったためである。調査は、U字溝の上下方向の位置の測量、休耕田の高さの測量と噴砂の大きさと位置のスケッチを行った。また、休耕田から採取した噴砂の比重試験と最大・最小密度試験、粒度分布試験も行った。なお、水田の立ち入りについては水田管理者に許可を得ている。

2003年8月2日に現地の下見を行っており、調査の時点で8月20日と現状に大きな違いはなかったことから、調査結果は地震後の様子を反映している。ちなみに聞き取り調査を行った方によると、調査した水田の稲の生育は悪くないということであった。

3. 噴砂の物理特性

図-7に休耕田から採取した噴砂の粒径加積曲線を示す。比較のため豊浦砂についても合わせて示した。水田の噴砂は粒径がそろっており、液状化しやすい砂であることがわかる。表-1に噴砂の物理特性を示す。

4. U字溝上下方向変動調査

U字溝の一つの大きさは、幅 80cm、深さ 60cm、長さ 200cm で、全部で 107 個あり、上下の変動の激しい部分は水田の北側端部の 30 個で、浮き上がり

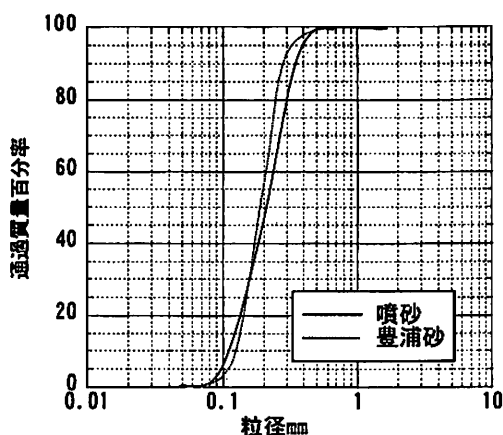


表-1 噴砂の粒径加積曲線

土粒子の密度	2.623 g/cm ³
最大密度	1.465 g/cm ³
最小密度	1.145 g/cm ³

図-7 噴砂の粒径加積曲線

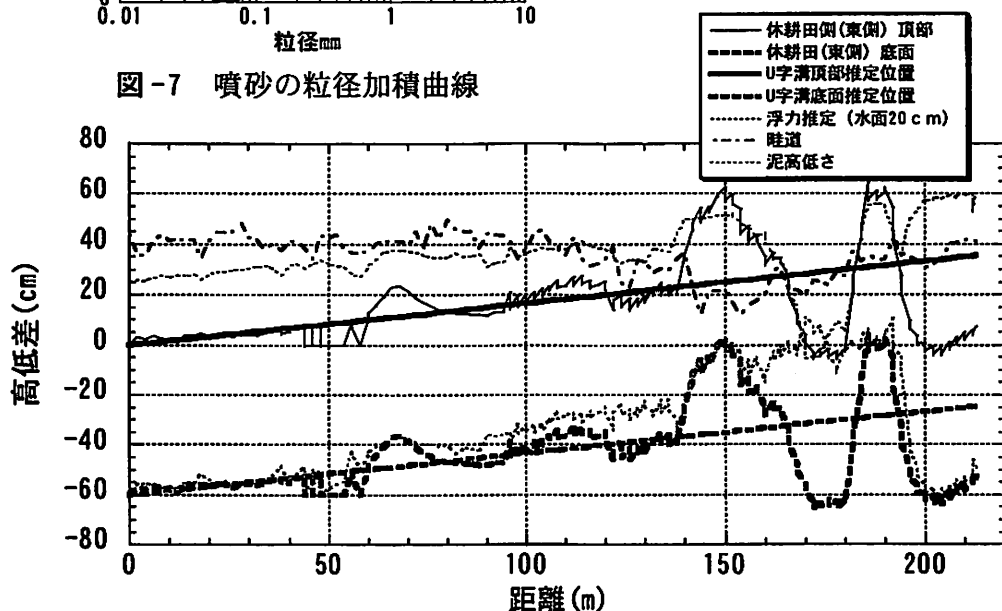


図-8 U字溝及び畦道の高低差

と沈下が見られた。

調査にあたり、U字溝上部四辺の上下方向の位置を計測した。また、U字溝の両側に畦道があるが、東側(休耕田側)の畦道についてのみ上下方向の位置を計測した。U字溝の上下変動の激しい部分では、U字溝内に液状化したと思われる砂がかなり流入していたため、底面から砂の高さについても計測した。なお、計測の原点は南側最端部のU字溝とした。図-8にU字溝の頂部と底面及び畦道の上下方向の位置、U字溝に流入した砂の高さ、変動の少ない南側端部のU字溝から推定した元のU字溝の高さ、U字溝に働く浮力から計算したU字溝の位置をそれぞれグラフに示す。この図はU字溝付近の縦断図としてみることができ、砂の位置がU字溝の頂部より上にあると

ころでは、U字溝が完全に埋没していることを表している。なお、図中には示していないが、U字溝の頂部の東側と西側の高さはほぼ一致しており、U字溝の横方向への傾きはほとんど発生しなかったと言える。南側端部から150～190m付近では、上方向の位置が60cmに達しており、元の位置から考えると30cm近く浮き上がったことがわかる。また、180m付近では沈下しているが、これも勾配を推定して考えると、30cm程度の沈下と考えられ、U字溝の沈下と浮き上がりの差は約60cmとなった。また、沈下と浮き上がりの変状が南側端部からの距離に対して、周期的な変状が発生しているように見える。大まかに考えてこの波長は30-40m程度であると考えられる。

畦道の高さを見ると、U字溝の浮き上がりが最大であった南側端部から150mの付近では、他の位置に比べて高さが下になっている。高さは南側端部のU字溝を原点として考えているため、表示されている値が上下方向の変状とは限らないが、U字溝の浮き上がりが最大であった位置で畦道の沈下が最大であることは興味深い。畦道の下の方の砂が大量にU字溝下部に流れ込むことによってU字溝が浮き上がり、畦道が沈下したと考えられる。図中にU字溝に流入した砂の高さを示しているが、この曲線とU字溝底面の曲線との差がU字溝内に堆積した砂の厚さである。浮力から計算したU字溝の浮上がり量は、水面がU字溝底面から20cmとして、泥の流入量を考慮して計算した。この図から、南側端部から150-190m付近ではほぼ計算値と実測値が一致しており、この部分ではほぼ地盤が液体状になったと考えてよい。

5. 休耕田変状調査

図-9に休耕田の全体図と噴砂の分布を示す。この休耕田は縦(南北)方向で約20m、横(東西)方向約60mとなっている。塗りつぶされている部分が噴砂である。なお、水田の盤が水面より深く沈下し、砂と水田の土との区別ができない場合は、水面より上の部分を計測した。噴砂は全部で39個であった。休耕田全体の面積に対して噴砂で覆われた部分の面積の割合を計算したところ23%程度となった。このことから、調査地点内の稲が生育した水田においても、かなりの噴砂が発生していることが推定される。

休耕田の高低差とその分布を調べるため、図-10に示すようにメッシュを切り、高低差の分布を計測した。休耕田の縦方向はU字溝側から30mまでを2m毎、30mから60mを4m毎で区切り、図の横方向は3m毎とした。図-11に図-10に示した各側線の高低差を示す。なお、原点は側線No.1の左端

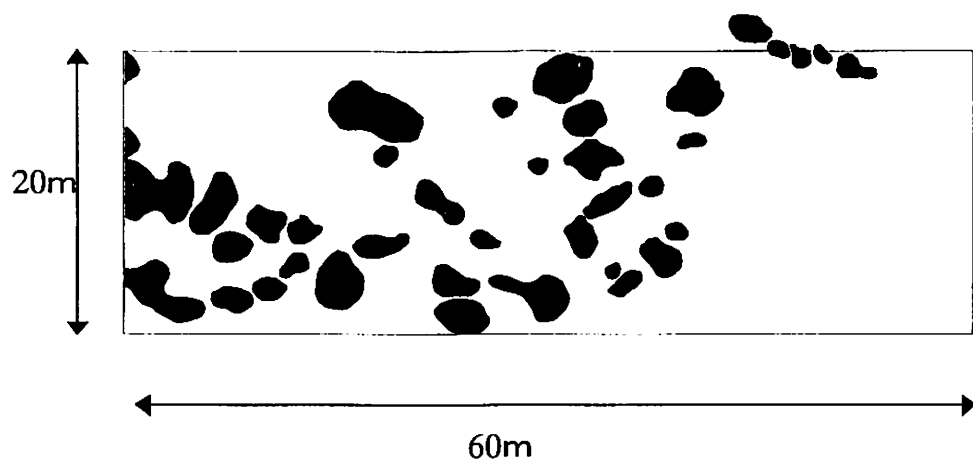


図-9 休耕田の全体図と噴砂の分布

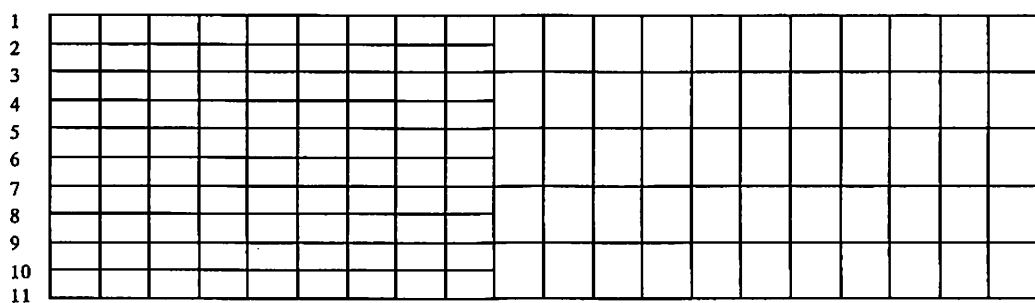


図-10 側線のメッシュ

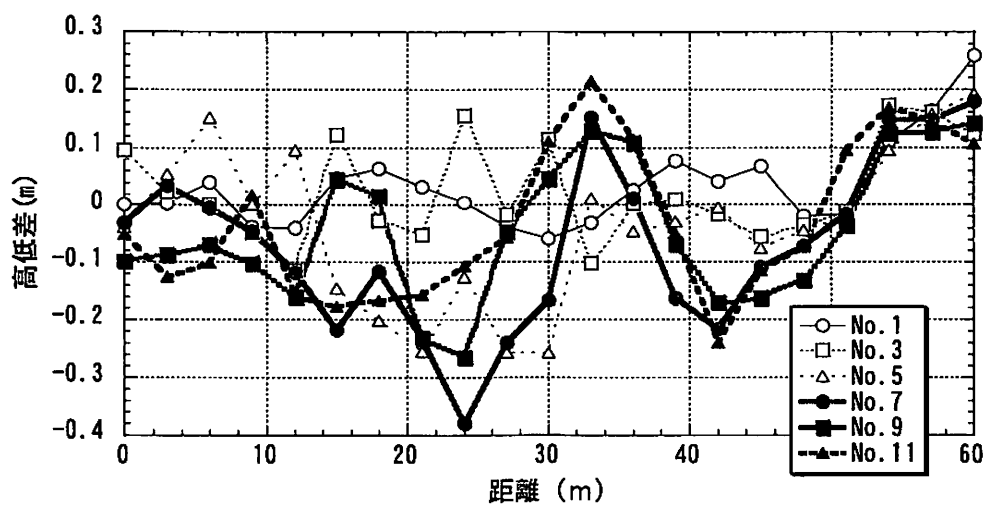


図-11 休耕田の全体図と噴砂の分布

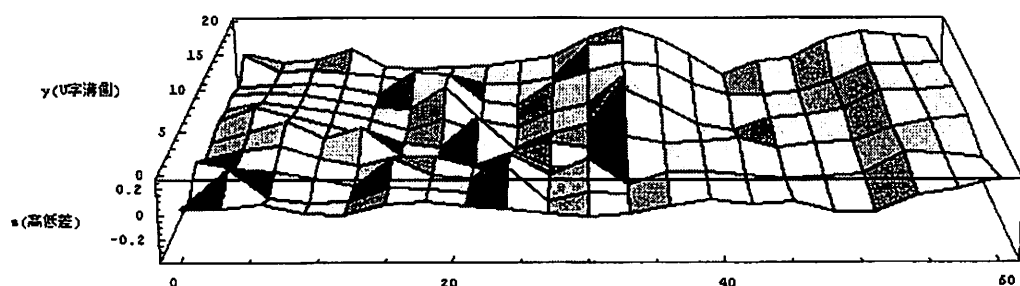


図-12 休耕田の全体図と噴砂の分布

(U字溝側端部)としている。原点に対して最大高さ0.214m, 最小高さ-0.379mであり, 休耕田内では最大で約60cmの高低差が発生している。これは聞き取り調査の値とほぼ一致しており, 他の水田でもこの程度の高低差が発生している可能性がある。また, No.9とNo.11の側線では, 最大の高さを示す値の付近では極めて大きな高低差を示しており, 水田内の地下では液状化による噴砂の際に, 砂の横方向の移動が発生したことがわかる。また, ここでもNo.7, No.9, No.11は周期的に変動しているように見える。このときの波長もU字溝と同様に20m程度となっている。

図-12に高低差を3D分布図で示す。図に示すように, 数十cmのオーダーで高低差が発生しているが, 高い部分は噴砂によってである。この図から, 高低差の激しい部分はU字溝側であり, U字溝から離れると高低差の変動が少なくなっている。

6. 刈り取り後の水田の様子

11月中旬に調査地点の稲の刈り取り後の写真撮影を行った。図-13, 図-14に刈り取り後の水田の様子を示す。図-13は, 図-2に示す上側(北側)の外周道路から下方向(南方向)を撮影しており, 図-14は図-2の左側(西側)の外周道路から右方向(東方向)に向かって撮影した写真である。写真に示されているように, 刈り取り後の水田は, 波打つような高低差が生じていることがわかる。また, この高低差の激しい部分は, 図-2に示したU字溝の上下変動の激しい部分にU字溝の流れに対して垂直方向に広がっていた。U字溝の変動が始まる南端から150m付近より北側は地下の地層構成が異なり, そのために激しい液状化が生じた可能性があるが, 地盤構成が不明なため確認できていない。写真から, 7月26日の時点で稲の生育した水田

内においても、激しい噴砂と地盤の沈下と隆起が生じたことが示された。また、写真から、水田内の隆起は数十mの間隔で発生しており、この波長は図-8及び図-9に示したU字溝と休耕田の上下変動の波長に一致しているように見える。しかし、既往の研究では、地盤の隆起・沈降の波長と地層構成や地震動との関係について研究した事例はない。噴砂と地層構成及び地震動の関係については、著者らの研究室にて、現在詳しく研究を行っている。

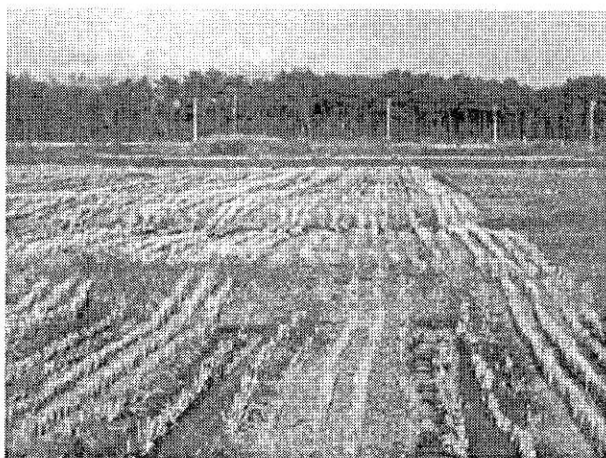


図-13 刈り取り後の水田の様子1



図-14 刈り取り後の水田の様子2

7. まとめ

ここでは鳴瀬町浜市地区の液状化被害の調査報告を行った。調査は、調査地点のU字溝の上下の高低差、休耕田の高低差と噴砂の分布について詳細に行った。その結果、以下に示すことがわかった。

- ・ U字溝の高低差は最大で60cmの差が生じている。
- ・ U字溝の浮上がりの激しい部分では畦道が沈下している。また、休耕田においても噴砂の高度が高い付近では水田の盤が低いところになっているものがあり、液状化したときの砂は噴砂により、横方向にも移動することがわかる。
- ・ 噴砂による砂の巻き上げ量の影響のため、水田の盤の高低差も最大で60cm程度となった。
- ・ 刈り取り後の水田の写真から、7月26日の時点で稲が生育していた水田

- においても噴砂及び隆起・沈下が生じていたことが示された。
- ・U字溝や休耕田，水田の隆起は数10mの波長で発生しているように見えた。これらと地層構成や地震動の関係については，今後著者らの研究室で継続して研究を行う予定である。

謝辞

本報告にあたって，現地における調査とデータ整理は，本報告を行った著者らの他，以下に示す東北学院大学工学部環境土木工学科飛田・山口研究室の学生の協力により，測量調査・データ整理等を行ったものである。ここに感謝の意を表する。

東北学院大学大学院工学研究科

川村大士，田口真，新田秀雄，藤井伸晃，

東北学院大学工学部土木工学科

安藤匡，稲川信博，菅野富寿夫，菊池睦月，佐々木祐二，今野貴子，
佐藤かおり，庄子大貴，西村修，星直樹，山田浩一，山根久和，
渡部健児。